

УДК 477.8.001.63

Ю.П. Стародуб¹, д-р фіз.-мат. наук, професор,
Б.Є. Купльовський², канд. фіз.-мат. наук, **Т.М. Гончар¹**, **П.А. Будчик¹**
(¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
²Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ, Україна)

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ МОДЕЛЕЙ ПРУЖНО-ДИНАМІЧНИХ ЕФЕКТІВ ЗЕМНОЇ КОРИ ПІД АТОМНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Наведені основні складові положення розробки проектів безпеки будівель та споруд залежно від ділянок місцевості, на яких вони розміщені. Дослідження пропонується виконати методом підбору з використанням моделювання методом скінчених елементів напружено-деформованого і динамічного стану земної кори в околі інженерних об'єктів. Розглянуто алгоритм визначення стійкості об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій за допомогою програмного забезпечення, розробленого науковцями ЛДУ БЖД та ІГФ НАН України. Наведені відомості з точки зору економічної ефективності запропонованого підходу.

Ключові слова: управління проектами, пружно-динамічні ефекти, атомна електростанція, земна кора.

Вступ. Стійкість інженерних споруд до сейсмічного впливу здебільшого залежить від основи, на якій вони зведені: рельєф, склад ґрунту, можливі розломи плит у основі земної кори та інші фактори. Задачею цього дослідження є використати підхід управління проектами до розв'язання таких екогеофізичних задач, які б дали можливість оптимізувати розміри будівельних конструкцій з метою створювати споруди, оптимальні щодо розмірів споруди, найбільш стійкі до сейсмічних коливань у їх основі [1,2,3]. Дослідження вигідно виконати шляхом підбору з використанням моделювання методом скінчених елементів (МСЕ) [4,5] – чисельного методу знаходження розв'язків інтегральних і диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Без спеціального програмного забезпечення розв'язання такої геофізичної задачі стає трудним для виконання. Тому для таких робіт використовують спеціальне програмне забезпечення, як приклад, Comsol Multiphysics, MatLab, MD Nastran Linear Structures Package [6,7,8]. Науковцями ЛДУ БЖД та ІГФ НАН України була розроблена програма МСЕ, за використанням якої розв'язання даної задачі значно спростилося [4]. Далі розглянемо проект розв'язання такого типу задач та покажемо, що це має значний економічний ефект в теорії управління проектами.

Аналіз стану ринку наукових досліджень [4 – 8] показав, що міцність інженерних споруд певною мірою залежить від їх основи – осадової товщі земної кори, на якій розташовано забудову. Відомо також про динамічні впливи на земну кору під атомними станціями, які характеризуються сейсмічними полями. Сейсмічні хвильові поля виникають і при потребі реєструються в заданому спектральному діапазоні навколо інженерних об'єктів. Вплив неоднорідностей та розломів земної кори на результуюче поле пружних напружень і деформацій може збільшувати їх амплітудне значення в десятки разів, що може спричинити непередбачені з економічної точки зору катастрофічні результати при неправильному уявленні про будову земної товщі, особливо з впливом температурних ефектів.

Аналіз проблеми, що не розв'язана

1. Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Наявність невирішених завдань полягає в тому, що немає загального підходу до вирішення цієї задачі. В кожному з існуючих досліджень реалізована частина проблеми, але немає її повного вирішення. На сьогодні не існує загальнодоступних спеціалізованих програмних пакетів для дослідження напружено-деформованого стану земної кори та дослідження динамічних характеристик поширення сейсмічних хвиль, де дослідники могли б на одній заданій моделі з однаковими характеристиками дослідити і статичні і динамічні параметри середовища.

2. Постановка проблеми і завдання. Наголошуючи на потребі визначення основних складових проблеми існування та реалізації проекту, який дасть змогу спрогнозувати можливу ситуацію стійкості споруди атомної електростанції у зв'язку зі змінами в товщі земної кори, розглянемо вплив пружно-динамічних ефектів для Чорнобильської АЕС. Для цього нам потрібно:

- визначити сутність та особливості досліджуваної проблеми з точки зору управління програмним проектом;
- зібрати та проаналізувати дані, необхідні для проведення дослідження;
- поряд з основними наявними функціями запропонувати вирішення проблеми за допомогою спеціальних функцій;
- запропонувати проект, який буде відповідати всім необхідним параметрам досліджуваного завдання.

Атомно-енергетичний комплекс України включає в себе чотири діючі та одну «заморожену» атомні електростанції. Кожна з них являє собою значну небезпеку для людей та навколишнього середовища. Велику увагу приділяють не лише безпечній експлуатації цих об'єктів, а й правильному вибору місцевості для їх розташування. Оскільки в земній корі постійно відбуваються температурні зміни, рухи літосферних плит, коливання, виникає проблема розломів у її основі під впливом названих факторів. Тому основною проблемою залишається реалізація проекту для вирішення даної еколого-геофізичної практично-важливої задачі.

У процесі рішення задачі про моделювання хвильового поля методом скінчених елементів можливе виконання таких завдань:

- розрахунок спектральних характеристик неоднорідного середовища;
- відновлення часових форм джерела за заданими спектрами коливань ґрунтів за змодельованими Р і S- хвилями на пунктах сейсмічних спостережень;
- отримання модельних сейсмограм на станціях; аналіз цих сейсмограм з метою виявлення часів вступів та фаз обмінних хвиль.

Фізична та математична **постановка задачі** про поширення сейсмічних хвиль у неоднорідному середовищі формулюється з метою розв'язання задачі про визначення вектора переміщень (швидкостей переміщень, прискорень), тензора деформацій і напружень у горизонтально-неоднорідному півпросторі з вільною границею. Отримані розв'язки порівнюються з даними, отриманими в результаті сейсмічного експерименту. У результаті порівняння даних експерименту і моделювання робляться висновки щодо впливу значень та зміни фізичних параметрів середовища.

Метод управління, формування етапів взаємодії проекту

1. Етапи проекту. Життєвий цикл проекту складається з послідовних, фаз, які не мають перекриття, і визначаються потребою розроблення алгоритму та контролю за виконанням з боку виконавця. Оскільки з етапами розв'язання однієї задачі може бути пов'язана велика кількість проектів, то в даному конкретному випадку розглядається саме та частина, яка дасть змогу вирішити геофізичну задачу, поставлену в дослідженні, і визначити її економічний та соціальний ефект. Проект містить у собі алгоритм вивчення впливу пружно-динамічних ефектів на земну кору, а саме покрокове рішення задачі з використанням програми FEM [5].

На основі таких досліджень поліпшується якість обробки матеріалів про об'єкт, зокрема, питання локалізації гіпоцентрів місцевих землетрусів, вивчається динаміка руху ґрунтового масиву земної кори під станціями, максимальні значення швидкостей переміщення і акселерограм у шуканих точках просторового розміщення станцій. Досліджується напруження, які виникають у земній корі, досліджується вплив цих напружень на земну кору в основі станції.

2. Інтерфейс розробленого пакету програм. Опишемо коротко інтерфейс користувача та програму розв'язання прямої динамічної задачі сейсміки з використанням методу скінчених елементів (FEM), який вирішує питання поставленого проекту і використовується для проведення та інтерпретації вхідних даних і результатів моделювання сейсмічного хвильового поля.

При запуску програми відкривається вікно головного меню інтерфейсу (рис. 1). У головному вікні розміщені клавіші команд управління, назва яких і дії, які вони виконують, характерні для офісних програм "Windows" обробки текстів і малюнків.

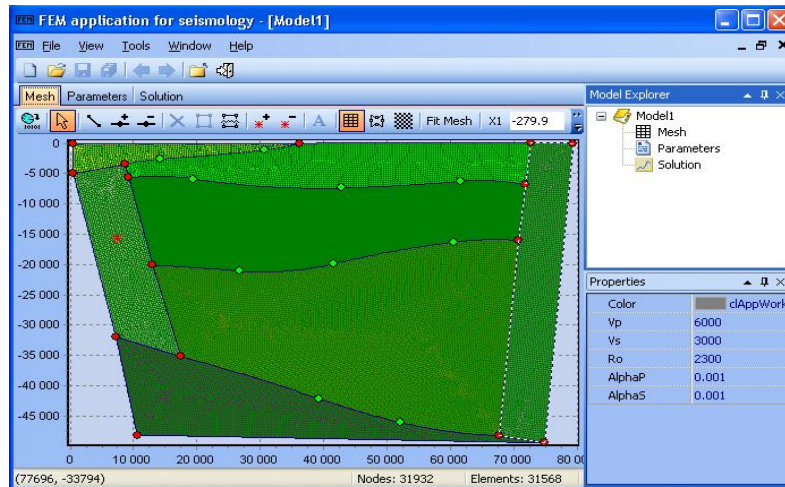


Рис. 1. Вікно головного меню інтерфейсу програми моделювання хвильового поля методом скінчених елементів. Області з різними фізичними властивостями відрізняються кольорами (відтінками). Світлі вузли (зелені) визначають області розбиття; темні вузли (червоні) – характерні точки, визначають границі областей. Області можуть характеризуватись унікальними властивостями. Джерело коливань позначене зірочкою (червоним кольором). Приймачі розміщені на денній границі рівномірно з кроком розбиття моделі. Штрихованою (білою) лінією виділяється область, властивості якої змінюються

Новизна, що підвищує реальну успішність результатів реалізації проекту

Результати роботи алгоритму. Після здійснення обчислень інтерфейс дає змогу графічно представити результати для вибраних вузлів розбиття. Є можливість переглянути три типи графічних залежностей: сейсмограми, спектри та фази.

Для вибраної компоненти переміщення можна проглянути траси сейсмограм (швидкості переміщення), можливо також подивитись графіки для переміщення швидкості або другої похідної компонент переміщення. Для кожного з типів графіків можна змінити діапазон представлення результатів: відповідно часовий і частотний для сейсмограм і спектрів [4].

На рис. 2 представлена модель розрізу будови земної кори під Чорнобильською атомною електростанцією, на рис. 3 і 4 представлені теоретична сейсмограма залежності вертикальної компоненти швидкості переміщення від часу та спектри передатних функцій вертикальної компоненти швидкості переміщення для моделі сейсмічного розрізу земної кори під Чорнобильською АЕС відповідно, які використовуються для інтерпретації та висновків щодо стану земної кори під станцією.

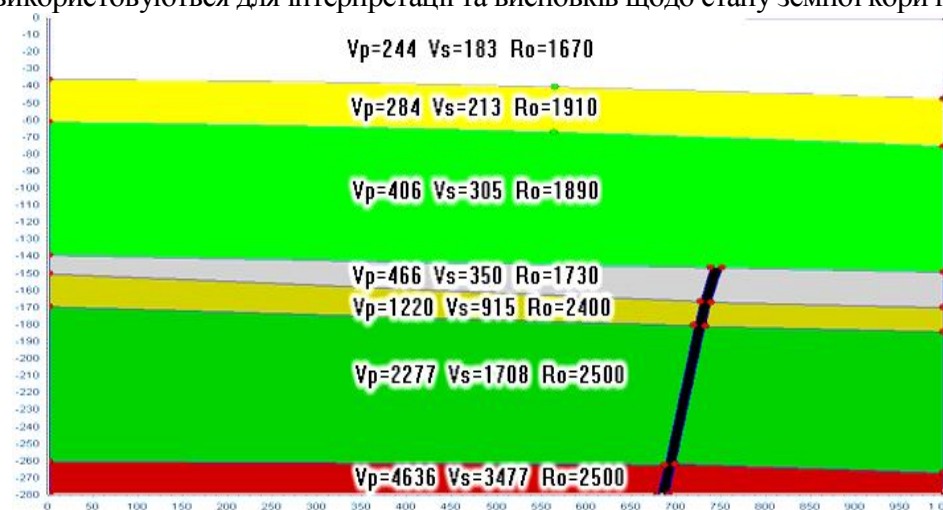


Рис. 2. Розріз земної кори під Чорнобильською атомною електростанцією: сейсмічні характеристики моделі горизонтально-неоднорідних шарів і розлому; розміщення приймачів – на вільній границі по горизонталі з кроком 4 м

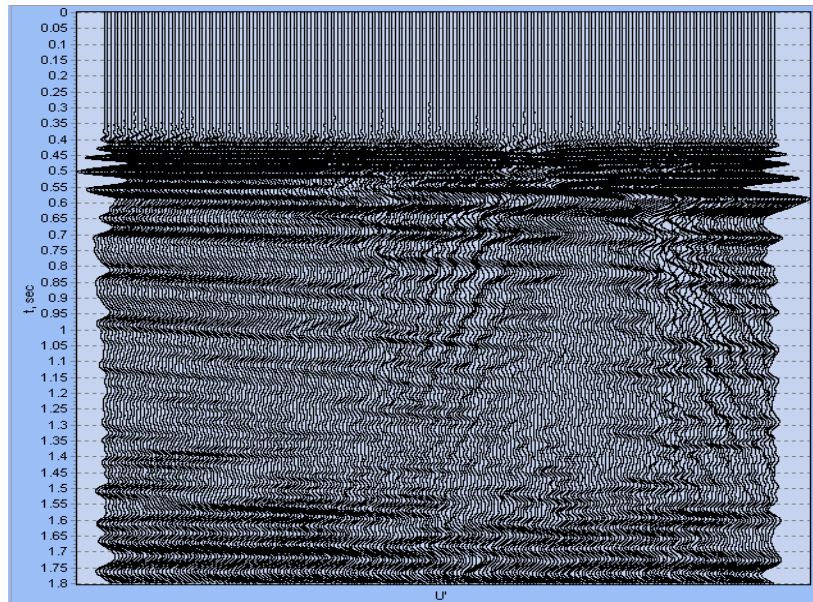


Рис. 3. Теоретична сейсмограма залежність вертикальної компоненти швидкості переміщення (у відносних одиницях) від часу, розрахована на денній поверхні вздовж профілю для моделі сейсмічного розрізу земної кори під Чорнобильською АЕС

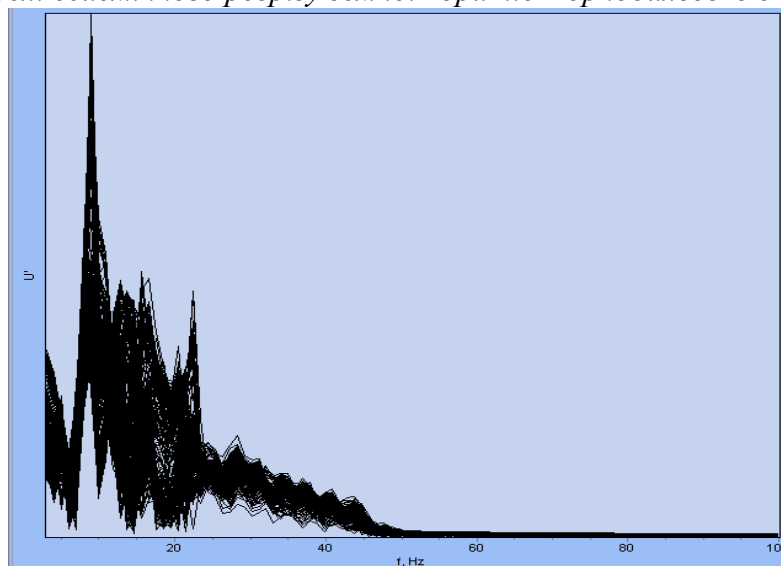


Рис. 4. Спектри передатних функцій вертикальної компоненти швидкості переміщення (у відносних одиницях) у залежності від частоти для моделі сейсмічного розрізу земної кори під Чорнобильською АЕС

Розрахунок економічного ефекту проекту

У цьому підході економічний показник показує перевищення вартісної оцінки результатів над вартісною оцінкою сукупних витрат ресурсів за весь строк здійснення заходів, що обчислюється за формулою:

$$E_{st} = R_{st} - V_{st} ,$$

де E_{st} – економічний ефект заходів науково-дослідної роботи;

R_{st} – вартісна оцінка результатів здійснення модельних досліджень за розрахунковий період;

V_{st} – вартісна оцінка витрат на здійснення заходів з використанням існуючих за розрахунковий період.

У цьому випадку при застосуванні програмного забезпечення, запропонованого в статті, чисельність людських ресурсів для виконання задачі вивчення коливних процесів, їх спектрів і напружено-деформованого стану масивів породи під АЕС зведеться до виконання роботи однією людиною геофізиком-інтерпретатором. Зараз, при механічному розрахунку цієї задачі кількість становить як мінімум п'ять осіб. Тому витрати на заробітну плату працівникам суттєво скоротяться.

Розглянемо ефективність розробки, провівши аналіз наявного програмного забезпечення. Так вартість потрібних ліцензійних версій програм на кінець 2013 року є такою: MatLab Simulink – 29000,0 грн; Comsol Multiphysics – 66000,0 грн; MD Nastran Linear Structures Package – 252000,0 грн.

Запропонований нами підхід дешевший і більш успішний, ніж при використанні досі існуючих методів. При будь якій постановці проблеми, вирішення даної еколого-геофізичної задачі спрощується, необхідна кількість людських ресурсів мінімізується, а показник економічного ефекту становить (розглянемо найдешевший випадок – використання MatLab Simulink):

$$E_{st} = 29000,0 - 13000,0 = 16000,0 [\text{грн}],$$

де 13000,0 грн – витрати на купівлю програмного забезпечення Delphi XE5 (8000,0 грн) та заробітну плату користувачу програмного пакета при дослідженні на кожному об'єкті.

Отже економічний ефект на кінець 2013 року від реалізації проекту становитиме 16156,0 грн, при мінімальних витратах на необхідне програмне забезпечення. Для решти випадків він буде більшим. Загалом треба зазначити, що підвищена ефективність безпеки експлуатації атомних електростанцій матиме неоціненний соціальний ефект.

ВИСНОВКИ. Даний комплексний підхід до вирішення задачі є новим у сегменті еколого-геофізики. Постановка задачі є чіткою, а її розв'язання скорочене і покращене на основі застосування нового програмного забезпечення. Це дає змогу не тільки виконувати моделювання для розрахунку впливу ефектів натурної пружності, зокрема, термічних ефектів, а й впливу таких факторів, як розломи, вивчити їх динаміку і на основі цього стан земної кори під атомними електростанціями. Цей підхід є новим, оскільки раніше задачі вирішувались іншими більш затратними способами як за часом, так і за ресурсами і ефективним, адже заощаджує час і фінансові витрати на вирішення досліджуваної проблеми.

Список літератури:

1. **Рак Ю.П.** Інформаційні технології управління регіональними портфелями проектів на основі офісу з безпеки життєдіяльності / Ю. П. Рак, О. Б. Зачко, В. Б. Федан // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – 2010. – № 2(22). – С. 45-49.
2. **Рак Ю.П.** Управління проектами та програмами модернізації системи безпеки життєдіяльності / Ю. П. Рак // Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України : матер. наук.-техн. конф. – Харків : УЦЗУ, 2008. – С. 178-181.
3. **Руководство** к своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®) Четвертое издание – Project Management Institute, 2008 – 18 с.
4. **Стародуб Ю.П.,** Купльовський Б.Є., Гончар Т.М. Врахування впливу термічних ефектів на земну кору під Чорнобильською атомною електростанцією. Міжнародна конференція Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. – 20-22 квітня 2011 року. – Київ, Україна. – С.347 – 348
5. **Стародуб Ю.П.** Пряма динамічна задача сейсміки для вивчення будови земної кори. – Львів: Світ, 1998. – 164 с.
6. **Introduction** to COMSOL Multiphysics (PDF)...: Режим доступу: <http://www.comsol.com>.
7. **MatLab.** Руководство для начинающих. Режим доступу: <http://chemometrics.ru/materials/textbooks/matlab.htm>.
8. **MD Nastran Desktop** Modules – ZouchDynamicsLtd. Режим доступу: <http://www.zouchdynamics.co.uk/index.php/sme-solutions/md-nastran-desktop/18-zdlmain/zdlproducts/msc-software-products/md-nastran-desktop/34-md-nastran-desktop-modules2>.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ ИЗУЧЕНИЯ МОДЕЛЕЙ УПРУГО-ДИНАМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД АТОМНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Приведены основные составляющие разработки проектов безопасности зданий и сооружений в зависимости от участка местности, на которых они размещены. Исследования предлагается выполнить методом подбора с использованием моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного и динамического состояния земной коры в окрестности инженерных объектов. Рассмотрен алгоритм определения устойчивости объектов в условиях чрезвычайных ситуаций с использованием программного обеспечения, разработанного учеными ЛГУ БЖД и ИГФ НАН Украины. Приведены сведения с точки зрения экономической и социальной эффективности предложенного подхода.

Ключевые слова: управление проектами, атомная электростанция, упруго-динамический эффект, земная кора.

G.P. Starodub, B.E. Kuplyovsky, T.M. Gonchar, P.A. Budchik

PROJECT MANAGEMENT OF THE PATTERNS OF ELASTIC-DYNAMIC EFFECTS IN THE CRUST UNDER NUCLEAR POWER PLANTS

The main components of the buildings and structures safety projects with regard to the location area were presented in the article. It has been suggested to carry out the research with the help of selection method using finite element method of stress-strain and dynamic state of the crust in the vicinity of engineering objects. The algorithm of determination of objects stability in emergencies using software developed by scientists from Lviv State University of Life Safety and S.I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine was considered. The information from the point of view of economic and social effectiveness of the proposed approach was given.

Key words: project management, nuclear power plant, elastic-dynamic effect, the Earth's crust.

